

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-148038

(43)Date of publication of application : 27.05.1994

(51)Int.Cl.

G01M 19/00

G01H 17/00

G06F 15/60

(21)Application number : 04-298411

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 09.11.1992

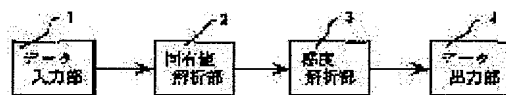
(72)Inventor : KAWABE YOSHIKO
YOSHIDA SHINOBU
MORI KENJI

(54) VIBRATION ANALYZER

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a vibration analyzer for rationally performing structure search satisfying a natural frequency target specification including change in a geometric phase for vibration analysis.

CONSTITUTION: An analyzer for vibration of a structure based on finite element analysis comprises a data input part 1 for inputting an allowable design region, constraint conditions, a material coefficient and initial concentration values of respective elements and an eigen value analyzing part 2 for calculating a stiffness matrix, a mass matrix, an eigen value, a natural frequency and a native mode from the allowable design region, constraint conditions, the material coefficient and initial concentration values of respective elements. It further comprises a sensitivity analyzing part 3 for calculating sensitivity of the eigen value by differentiating the eigen value calculated in the eigen value analyzing part 3 with concentration of each element and a data output part 4 for displaying the eigen value, the natural frequency and the native mode calculated in the eigen value analyzing part 2 and a distribution of sensitivity of the number of natural frequency calculated by the sensitivity analyzing part 3.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-148038

(43)公開日 平成 6 年(1994) 5 月27日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 M 19/00	Z			
G 0 1 H 17/00	Z	8117-2G		
G 0 6 F 15/60	4 5 0	7922-5L		

審査請求 未請求 請求項の数 5 (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平4-298411

(22)出願日 平成 4 年(1992)11 月 9 日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目 6 番地

(72)発明者 河辺 佳子

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 吉田 忍

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(72)発明者 森 健次

茨城県土浦市神立町502番地 株式会社日立製作所機械研究所内

(74)代理人 弁理士 小川 勝男

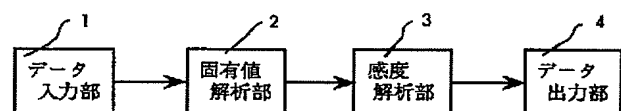
(54)【発明の名称】 振動解析装置

(57)【要約】

【目的】目標仕様の固有振動数を満たす構造探索を、幾何学的な位相の変更を含めて合理的に行う振動解析することができる振動解析装置を提供する。

【構成】有限要素法に基づいて構造物の振動を解析する装置において、設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の濃度の初期値を入力するデータ入力部 1 と、前記データ入力部 1 より入力した設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の初期濃度から、剛性マトリックス、質量マトリックス、固有値、固有振動数及び固有モードを計算する固有値解析部 2 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値を各要素の濃度で微分して固有値の感度を計算する感度解析部 3 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値、固有振動数及び固有モードと、前記感度解析部 3 で計算した固有振動数感度の分布とを表示するデータ出力部 4 とを備える。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】有限要素法に基づいて構造物の振動を解析する装置において、設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の濃度の初期値を入力するデータ入力部 1 と、前記データ入力部 1 より入力した設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の初期濃度から、剛性マトリックス、質量マトリックス、固有値、固有振動数及び固有モードを計算する固有値解析部 2 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値を各要素の濃度で微分して固有値の感度を計算する感度解析部 3 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値、固有振動数及び固有モードと、前記感度解析部 3 で計算した固有振動数感度の分布とを表示するデータ出力部 4 とを備えたことを特徴とする振動解析装置。

【請求項 2】有限要素法に基づいて構造物の振動を解析する装置において、設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の濃度の初期値を入力するデータ入力部 1 と、各要素の濃度の値に対応した材料定数を格納する材料定数テーブル部 8 と、前記データ入力部 1 より入力した設計許容領域、拘束条件及び各要素の濃度の値と、各要素の濃度の値に対応して材料定数テーブル部 8 から探索した材料定数とから、剛性マトリックス、質量マトリックス、固有値、固有振動数及び固有モードを計算する固有値解析部 2 と、前記材料テーブル部 8 から探索した材料定数の微分値と前記固有値解析部 2 で計算した固有値を各要素の濃度で微分して固有値の感度を計算する感度解析部 3 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値、固有振動数及び固有モードと、前記感度解析部 3 で計算した固有振動数感度の分布とを表示するデータ出力部 4 とを備えたことを特徴とする振動解析装置。

【請求項 3】有限要素法に基づいて構造物の振動を解析する装置において、設計許容領域、拘束条件、材料定数、各要素の濃度の初期値及び目標とする固有振動数を入力するデータ入力部 1 と、前記データ入力部 1 より入力した設計許容領域、拘束条件、各要素の濃度の値及び材料定数から、剛性マトリックス、質量マトリックス、固有値、固有振動数及び固有モードを計算する固有値解析部 2 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値を各要素の濃度で微分して固有値の感度を計算する感度解析部 3 と、前記感度解析部 3 で計算した感度に基づいて濃度の分布を変更させるベクトル変更部 5 と、前記ベクトル変更部 5 で求めた濃度分布の変更量の大きさから濃度分布の変更の繰返しの要不要を判定する収束判定部 6 と、前記収束判定部 6 による変更の要不要の判定に応じて、*

$$[k_i] = \int [BMA]^T [D] [BMA] dV$$

【0006】この式において、[BMA]はこの要素の形状のみによって決まる形状マトリックスである。従って、要素を構成する節点の座標値が変化しなければ、[BMA]は一定である。一方、[D]は、数式 2 に示すよ

* 前記ベクトル変更部 5 で求めた濃度分布の変更量の大きさで濃度分布を変更するパラメータ変更部 7 と、前記固有値解析部 2 で計算した固有値、固有振動数及び固有モードと、前記感度解析部 3 で計算した固有振動数感度の分布とを表示するデータ出力部 4 とを備え、更に収束判定部 6 は、繰返し要の場合には、ベクトル変更部 5 において求められた変更ベクトルを用いて、パラメータ変更部 7 において濃度分布を変更し、その濃度をデータ入力部 1 の濃度分布に置換して再度計算を行わせ、繰返し不要の場合には、データ出力部 4 にデータを送ることを特徴とする振動解析装置。

【請求項 4】請求項 1 乃至請求項 3 に記載の振動解析装置において、前記データ出力部 4 は、固有振動数の感度分布あるいは各要素の濃度の分布を、各要素に分布量に応じた大きさの棒グラフあるいは円グラフを重ねてグラフィックス表示することを特徴とする振動解析装置。

【請求項 5】請求項 1 乃至請求項 3 に記載の振動解析において、前記データ出力部 4 は、固有振動数の感度の分布あるいは各要素の濃度分布を、各要素に分布量に応じた濃淡または色調または明暗を配置してグラフィックス表示することを特徴とする振動解析装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、有限要素法を利用した振動解析装置に係り、特に、構造物の形状適正化を図ることができる振動解析装置に関する。

【0002】

【従来の技術】有限要素法を用いた従来の構造物の振動解析装置では、対象とするモデルの形状を座標値または外形線の寸法値で、材料特性をヤング率、ポアソン比、密度で入力し、モデルを構成する各要素の節点座標とモデルの動特性を固有振動数、固有モードで出力している。

【0003】文献ザ・フィナイト・エレメント・メソッド「The Finite Element Method (Zienkiewicz, O. C., McGraw-Hill, 1977)」に記載されている有限要素法では、一つの要素の剛性マトリックスは、その要素のヤング率 E 及びポアソン比 ν と、その要素を構成する節点の座標値より求められる。

【0004】数式 1 は、有限要素モデルの i 番目の要素の剛性マトリックス $[k_i]$ を求める式である。

【0005】

【数 1】

…(数式 1)

うに、要素のヤング率 E 及びポアソン比 ν によって決まるマトリックスである。

【0007】

【数 2】

$$[D] = \frac{E}{1+\nu} \begin{bmatrix} \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{\nu}{1-2\nu} & \frac{1-\nu}{1-2\nu} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

4

…(数式2)

【0008】

$$([K] - \mu[M])\{Y\} = \{0\}$$

* * 【数3】

…(数式3)

【0009】数式3は有限要素法モデルの固有値を求める固有値方程式である。この方程式の剛性マトリックス[K]及び質量マトリックス[M]は、モデルを構成する各要素の剛性マトリックス[k_i]及び質量マトリックス[m_i]の合成マトリックスとして表される。また、モデルのm次の固有値μ_m、固有モード{Y_m}は、この特性方程式を満たす解として求められる。振動モデルとシミュレー

※シヨン（田中基八郎、三枝省三 共著、応用技術出版、1984年）の第332頁から第337頁に記載されるように、固有値μ_m、固有振動数f_mに対するパラメータνの感度は、数式4より求められることが知られている。

20 【0010】

【数4】

$$\frac{\partial \mu_m}{\partial \nu} = \frac{\{Y_m\}^T \left\{ \frac{\partial K}{\partial \nu} \right\} \{Y_m\} - \mu \{Y_m\}^T \left\{ \frac{\partial M}{\partial \nu} \right\} \{Y_m\}}{\{Y_m\}^T [M] \{Y_m\}}$$

$$\frac{\partial f_m}{\partial \nu} = \frac{1}{4\pi\sqrt{\mu_m}} \left(\frac{\partial \mu_m}{\partial \nu} \right)$$

…(数式4)

【0011】従来の振動解析プログラムでは、座標値または寸法値をパラメータとし、固有振動数に対する感度を数式4より求めている。また、差分を用いた感度解析では、座標値または寸法値を入力値から微小だけ変化させ、このときの固有振動数の増分と、座標値または寸法値の増分から、固有振動数に対する座標値または寸法値の感度を出力している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来の有限要素法を用いた振動解析では、目標仕様の固有振動数を満たす構造探索を行う際、寸法、形状についてのパラメトリックな感度解析、最適化しか行えず、構造の中の中空部の有無や、中空部の数や形状の同定、境界条件の変更といった幾何学的な位相の変更を含む感度解析、最適化を行うことはできず、設計者の経験に頼るほかなかった。

【0013】本発明の目的は、従来の振動解析では不可能だった中空部の同定など幾何学的な位相の変更を含む感度解析を行い、合理的な形状探索により設計者の負担や作業量を軽減することができる振動解析を提供するものである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は上記の目的を達

30

成するために、有限要素法に基づいて構造物の振動を解析する装置において、設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の濃度の初期値を入力するデータ入力部1と、前記データ入力部1より入力した設計許容領域、拘束条件、材料定数及び各要素の初期濃度から、剛性マトリックス、質量マトリックス、固有値、固有振動数及び固有モードを計算する固有値解析部2と、前記固有値解析部2で計算した固有値を各要素の濃度で微分して固有値の感度を計算する感度解析部3と、前記固有値解析部2で計算した固有値、固有振動数及び固有モードと、前記感度解析部3で計算した固有振動数感度の分布とを表示するデータ出力部4とを備えたことを特徴とするものである。

【0015】ここで、要素の濃度を定義を第5図を用いて説明する。

【0016】第5図の立体は、無限個・無限小の空胞9が均等に分布している材料であり、中実部分のヤング率、ポアソン比をそれぞれE、νとする。この立体の体積をV₀、中実部分の体積をVとしたとき、この立体の濃度ν（0 ≤ ν ≤ 1）を数式5で定義する。

【0017】

【数5】

50

$$v = V / V_0$$

【0018】この立体を均質な材料とすると、等価な密度 ρ 、ヤング率 E 、ポアソン比 ν は、濃度 v の関数となる。数式4より m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m に対する各要素の感度の大きさを数値化することができる。

【0019】また、各要素の感度解析を高速に行うために、材料定数テーブル部8を備えていることを特徴とする。

【0020】更にまた、設計者が、視覚的に確認しながら作業できるように、解析の結果として得られる感度分布や濃度分布を、グラフィックス表示するディスプレイ部を備えていることを特徴とする。

【0021】

【作用】本発明の振動解析装置によれば、感度解析部3で、固有振動数を各要素の濃度で微分している。固有振動数の各要素の濃度での微分値より、目標仕様の固有振動数に対する各要素の濃度の感度を数値化している。更にまた、ベクトル変更部5で、感度の値を基に、各要素の濃度を増減させて固有振動数を目標値に近付け、最適な構造物の形状を、設計領域内の要素の濃度分布として出力する。これによって、幾何学的な位相が異なる形状を含めた感度解析、形状最適化が可能となる。

【0022】

【実施例】以下、本発明の実施例を図面を用いて説明する。

【0023】図1は本発明の装置の第1の実施例を示すもので、この図1において、振動解析装置は、データ入力部1と固有値解析部2と感度解析部3とデータ出力部4とより構成されている。

【0024】ここで、要素の濃度を定義を図2を用いて説明すると、図2に示す立体 X は、無限個・無限小の空胞9が均等に分布している材料であり、中実部分のヤング率、ポアソン比をそれぞれ E 、 ν とする。この立体の体積を V_0 、中実部分の体積を V としたとき、この立体の濃度 v ($0 \leq v \leq 1$) を、前述した数式5で定義することができる。この立体を均質な材料とすると、等価な密度 ρ 、ヤング率 E 、ポアソン比 ν は、濃度 v の関数となる。前述した数式4より m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m に対する各要素の感度の大きさを数値化することができる。

【0025】前述したデータ入力部1は、図3のステップ31に示すように、設計可能領域を規定する座標値、寸法値、節点数、材料特性として、ヤング率 E 、ポアソン比 ν 、密度 ρ 、拘束条件として拘束点、集中質量、初期濃度分布として全要素について均一な濃度 $v = v_0$ を読み込む。

【0026】これらの入力データから、固有値解析部2は図3のステップ32に示すように、剛性マトリックス $[K]$ 及び質量マトリックス $[M]$ を計算し、数式4より、

…(数式5)

m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m 、固有モード $\{Y_m\}$ を計算する。

【0027】更に、感度解析部3は図3のステップ33に示すように、 m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m に対する各要素の濃度 v_i の感度を計算する。

【0028】データ出力部4は、図3のステップ34に示すように、解析結果の感度分布を出力する。

【0029】この実施例によれば、特定の固有振動数に対して、設計領域内で、補強すべき部分と、軽量化すべき部分とを特定する指標となる要素の濃度の感度分布を出力することができる。

【0030】図4は本発明の装置の第2の実施例を示すもので、この図4において、振動解析装置は、データ入力部1と材料定数テーブル部8と固有値解析部2と感度解析部3とデータ出力部4とより構成されている。

【0031】データ入力部1は、図5のステップ51に示すように設計可能領域を規定する座標値、寸法値、節点数、材料特性として、ヤング率 E 、ポアソン比 ν 、密度 ρ 、拘束条件として拘束点、集中質量、初期濃度分布として全要素について均一な濃度 $v = v_0$ を読み込む。

【0032】材料定数テーブル部8は、図5のステップ52に示すようにヤング率、ポアソン比、密度、ヤング率の微分、ポアソン比の微分、密度の微分を、各要素の濃度の大きさに対応した材料定数を格納する。

【0033】これらの入力データ及び材料定数から、固有値解析部2は図5のステップ53に示すように剛性マトリックス $[K]$ 及び質量マトリックス $[M]$ を計算し、数式4より、 m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m 、固有モード $\{Y_m\}$ を計算する。

【0034】更に、感度解析部3は図5のステップ54に示すように m 次の固有値 μ_m 、固有振動数 f_m に対する各要素の濃度 v_i の感度を計算する。

【0035】データ出力部4は、図5のステップ55に示すように解析結果の感度分布を出力する。

【0036】この実施例によれば、前述した実施例の振動解析装置の特徴に加え、計算実行時間を短縮することができる。

【0037】図6は本発明の第3の実施例を示すもので、この図6において、振動解析装置は、データ入力部1と、固有値解析部2と、感度解析部3と、ベクトル変更部5と、収束判定部6と、データ出力部4とで構成されている。

【0038】データ入力部1は、図7のステップ71に示すように設計可能領域を規定する座標値、寸法値、節点数、材料特性として、ヤング率 E 、ポアソン比 ν 、密度 ρ 、拘束条件として拘束点、集中質量、初期濃度分布として全要素について均一な濃度 $v = v_0$ を読み込む。

【0039】これらの入力データから、固有値解析部2は、図7のステップ72に示すように剛性マトリックス

【K】及び質量マトリックス【M】を計算し、数式4より、 m 次の固有値 μ_n 、固有振動数 f_n 、固有モード $\{Y_n\}$ を計算する。

【0040】更に、感度解析部3は、図7のステップ73に示すように m 次の固有値 μ_n 、固有振動数 f_n に対する各要素の濃度 v_i の感度を計算する。

【0041】データ出力部4は、図7のステップ74に示すように解析結果の感度分布を出力する。

【0042】感度解析部3より出力した感度の値に基づき、ベクトル変更部5は、図7のステップ75に示すように固有振動数を目標値に近付ける。各要素の濃度 v_i の変更量 Δv_i を計算する。

【0043】収束判定部6は、図7のステップ76に示すように与えられた収束条件を満たしているか否かを判定する。

【0044】この収束判定部6において、与えられた収束条件が満たされていないと判定されたときに、パラメータ変更部7において、図7のステップ77に示すように各要素の濃度 v_i の値を変更し、新たに計算した濃度分布について、固有値解析を行う。

【0045】この繰返し計算を、収束判定部6において、与えられた収束条件を満たすまで行い、その結果得られる濃度分布 $\{v_i\}$ 、固有値 μ_n 、固有振動数 f_n 、固有モード $\{Y_n\}$ を、データ出力部4より出力する。

【0046】この実施例によれば、固有振動数の目標値を満足する構造を、設計領域内の各要素の濃度分布として得ることができる。

【0047】前述したデータ出力部4は、図8に示すように、節13、14によって結合された各要素11のモデルに、図9及び図10に示すような濃度分布と感度分布の分布量の大きさを表す棒グラフ15をそれぞれ重ねて表示することができる。

【0048】この実施例によるデータ出力によれば、特定の固有振動数に対して、設計領域内で、補強すべき部分と、軽量化すべき部分とを視覚的に確認することができる。また、前述したデータ出力部4は、第1図乃至第13図に示すように、解析結果の要素の感度分布または濃度分布を、色調の明暗または濃淡で出力表示することもできる。

【0049】この実施例によるデータ出力によれば、特定の固有振動数に対して、設計領域内で、補強すべき部分と、軽量化すべき部分とを実際のモデル形状に即して視覚的に確認することができる。

【0050】前述した本発明の振動解析装置は、図14に示すように振動解析及び演算を行うCPU140と、解析結果の要素の感度分布または濃度分布を色調の明暗または濃淡でグラフィックス出力表示する出力部141

と、キーボード142とから構成することができる。なる。

【0051】本発明の実施例によれば、目標仕様の固有振動数を満足する構造物の形状を探索する設計者の作業を軽減させることができる。

【0052】

【発明の効果】本発明の実施例によれば、メッシュ分割した設計領域内の中空部の有無や、中空部の数や形状の同定、境界条件の変更といった幾何学的な位相の変更を含む感度解析、最適化を行うことが可能になるので、目標仕様の固有振動数を満足する構造物の形状を探索する設計者の作業を軽減させることができる。

【0053】である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の装置の第1の実施例を示すブロック図である。

【図2】本発明の装置により解析される要素の濃度を定義を説明する模式図である。

【図3】図1に示す本発明の装置の第1の実施例の動作を説明するフローチャート図である。

【図4】本発明の装置の第2の実施例を示すブロック図である。

【図5】図4に示す本発明の装置の第2の実施例の動作を説明するフローチャート図である。

【図6】本発明の装置の第3の実施例を示すブロック図である。

【図7】図6に示す本発明の装置の第2の実施例の動作を説明するフローチャート図である。

【図8】本発明の装置によって解析される要素の振動解析プログラムのモデルを示す斜視図である。

【図9】本発明の装置を構成するデータ出力部での振動解析感度の出力表示の一例を示す図である。

【図10】本発明の装置を構成するデータ出力部での振動解析濃度の出力表示の一例を示す図である。

【図11】本発明の装置を構成するデータ出力部での振動解析感度の出力表示の他の例を示す図である。

【図12】本発明の装置を構成するデータ出力部での振動解析濃度の出力表示の他の例を示す図である。

【図13】本発明の装置を構成するデータ出力部での振動解析濃度の出力表示のさらに他の例を示す図である。

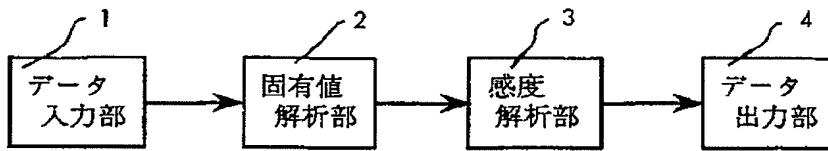
【図14】本発明の装置の具体的な構成を示す斜視図である。

【符号の説明】

1…データ入力部、2…固有値解析部、3…感度解析部、4…データ出力部、5…ベクトル変更部、6…収束判定部、7…パラメータ変更部、8…材料定数テーブル。

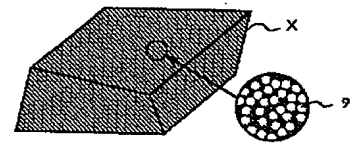
【図1】

図 1



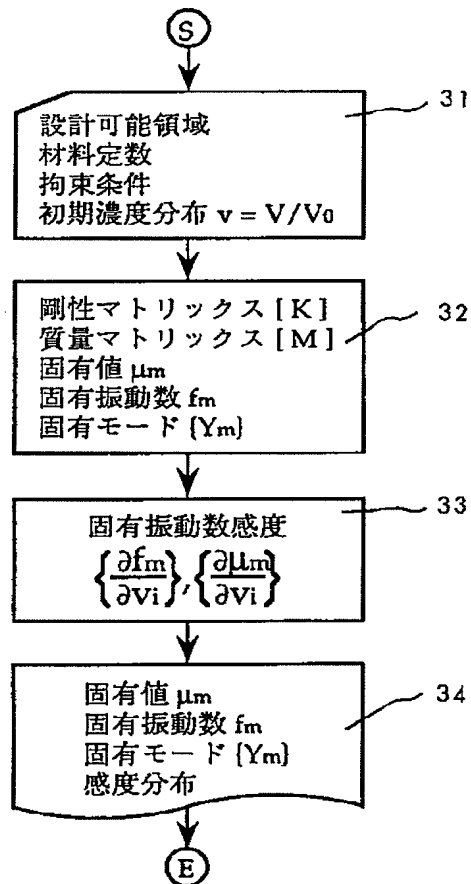
【図2】

図 2



【図3】

図 3



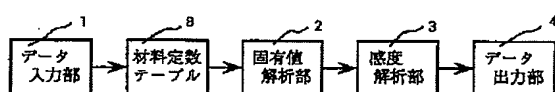
【図12】

図 12



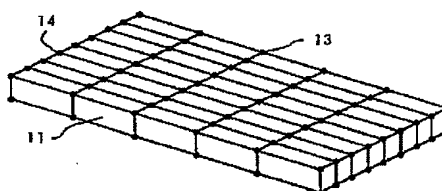
【図4】

図 4



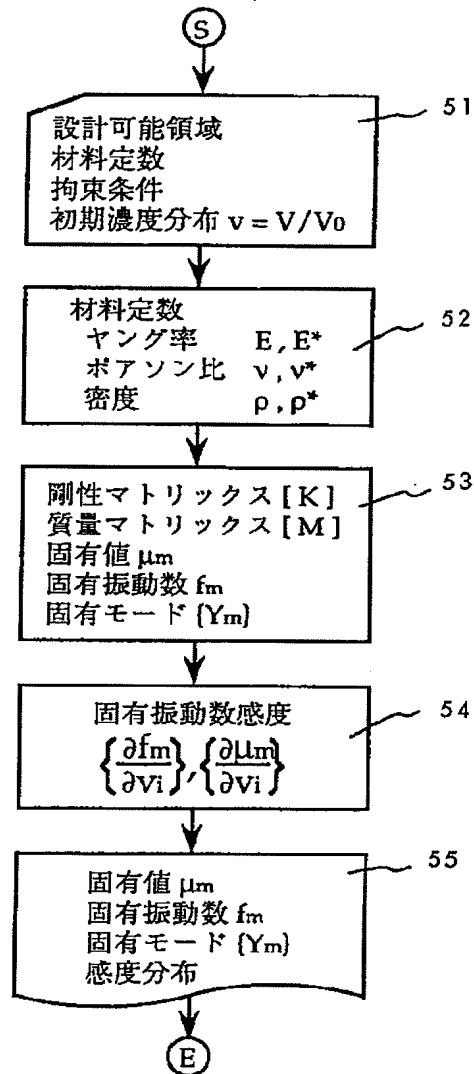
【図8】

図 8



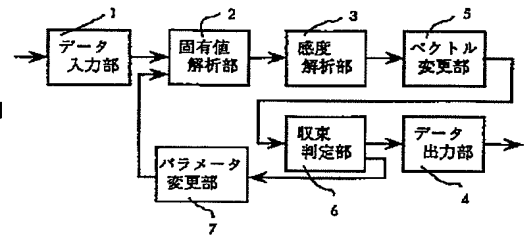
【図5】

図 5



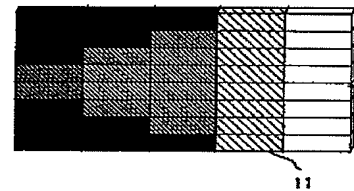
【図6】

図 6



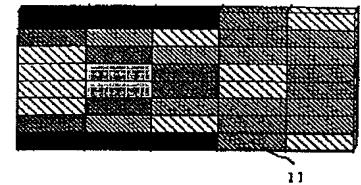
【図11】

図 11



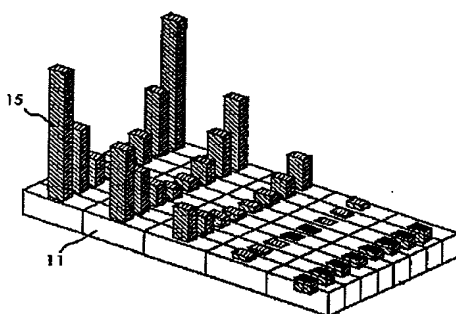
【図13】

図 13



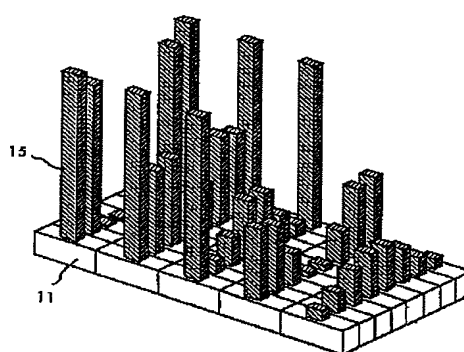
【図9】

図 9



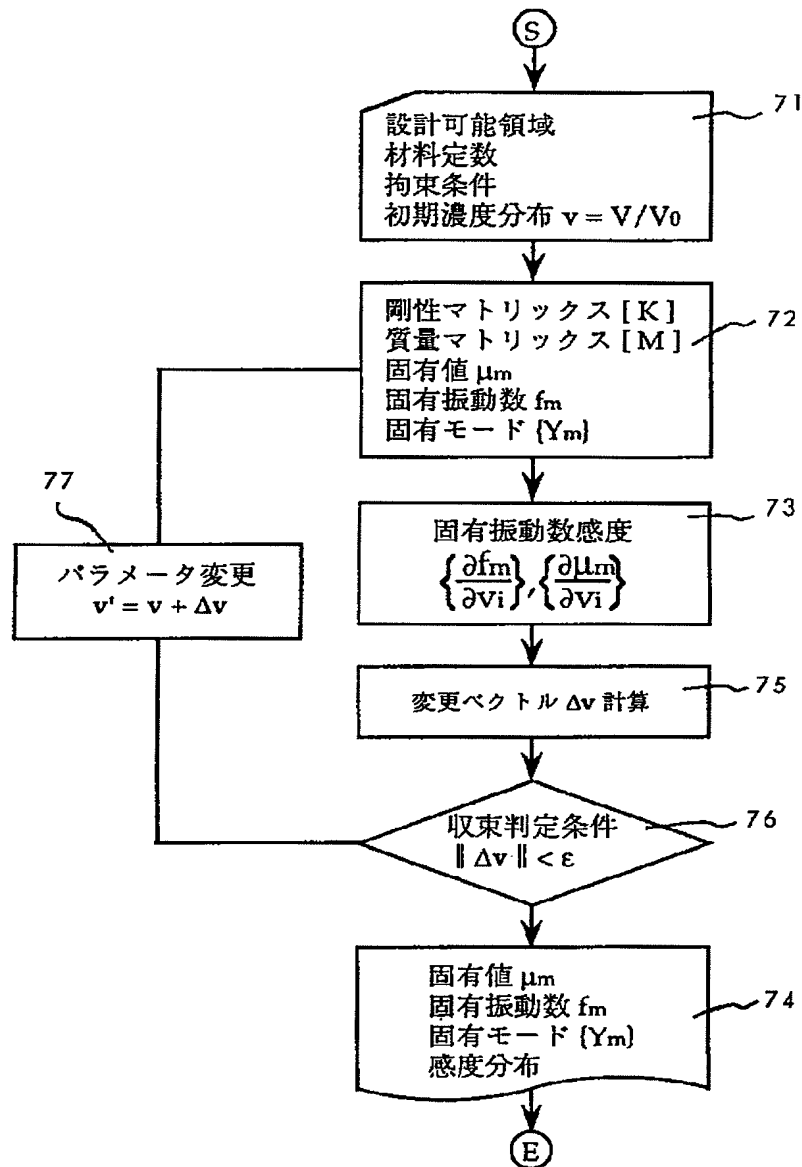
【図10】

図 10



【図7】

図 7



【図14】

図 14

